

2. Калитеевский, Р.Е. Лесопиление в XXI веке. Технология, оборудование, менеджмент / Р.Е. Калитеевский. - С-Петербург: Профи-Информ, 2005. - 480 с.

3. Уласовец, В.Г. Корректировка величин оптимальных размеров досок при распиловке бревен / В.Г. Уласовец // Деревообработка: технология, оборудование, менеджмент XXI века. Матер. 4 -го межд. Евразийского симпози. - Екатеринбург: УГЛТУ. - 2009. - С. 183 - 187.

4. Руководящие технико-экономические материалы по нормированию расхода сырья и материалов в производстве пиломатериалов. Утверждены 13.12.90 г. Министерством лесной, целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности СССР. - Архангельск: ЦИИМОД. - 1991. - 220с.

Чернышев А.Н. (ВГЛТА, г. Воронеж, РФ) alnik19@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СУШКИ ХВОЙНЫХ ПОРОД БЕЗ ИСКУССТВЕННОГО УВЛАЖНЕНИЯ В АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СУШИЛЬНЫХ КАМЕРАХ

RESEARCHING AERODYNAMIC KILN-DRYING PROCESS OF HARDWOODS WITHOUT ARTIFICIAL MOISTENING

Сушка влажных материалов, или тепло- и влагообмен между высушиваемым пиломатериалом и средой, является не столько теплотехническим процессом, сколько технологическим, в котором изменяются свойства высушиваемого материала. Поэтому задача сушки состоит в том, чтобы быстро высушить материал с качеством, удовлетворяющим определённым требованиям при минимальных производственных затратах.

Проф. Сергеев В.В. в своей замечательной работе [1] убедительно доказал, что особенностью закономерностей механизма переноса тепла и влаги к поверхности материала является их взаимосвязь как единого комплексного процесса аэродинамической сушки при нестационарных полях температуры, влажности и скоростях в обрабатываемой среде и внутри материала.

Отличительной особенностью сушки древесины в аэродинамических камерах любой мощности является изменение во времени температурно-влажностных параметров среды без искусственного её увлажнения. Отсутствие технологического пара на увлажнение сушильного агента вызывает дополнительные трудности поддержания режимных параметров среды с точки зрения их безопасности. Длительность процесса при этом обуславливается тепловой мощностью камеры, её герметичностью, характеристикой материала и внешними условиями сушки.

При сушке пиломатериалов в аэродинамических камерах при переменных условиях среды, когда происходит испарение влаги с постепенным углублением границы фазового перехода и увеличением критерия фазового перехода ϵ , процесс теплоотдачи значительно уменьшается. В первую очередь это связано с перегревом поверхности материала и снижением интенсивности сушки. Сухой слой поверхностной зоны материала препятствует передаче тепла во внутреннюю зону, а снижение разности между температурами среды и поверхности создаёт дополнительное сопротивление движению

теплового потока, что приводит к снижению коэффициента теплообмена. Лыков А.В. выдвинул гипотезу о том, что вынос микрочастиц влаги в конечном счёте увеличивает общую объёмную поверхность испарения, снижая, как казалось бы, коэффициент теплообмена α' [2]. Однако превалирующее значение при этом имеет увеличение суммарного испарительного эффекта - q' , из-за которого теплообмен становится более интенсивным. Истинный коэффициент теплообмена, исчисляемый по эффекту только на геометрической поверхности материала, при этом не увеличивается. Он может уменьшаться по сравнению с α' между средой и сухим телом или оставаться примерно таким же. Гипотеза Лыкова А.В. впоследствии была доказана Шубиным Г.С. и получила подтверждение у Сергеева В.В. [3].

Совокупность этих явлений при сушке в аэродинамических камерах, в которых условия среды изменяются во времени, а степень насыщенности агента сушки можно изменить только за счёт влаги, испаряемой из материала, кинетика (среднее значение потенциалов переноса) процесса в значительной мере определяется физико-механическими свойствами самого материала. Изменение локальной влажности и локальной температуры с течением времени зависит от взаимосвязанного механизма переноса влаги и тепла внутри материала и массо- и теплообмена поверхности материала с окружающей средой. Этот механизм имеет очень сложный характер, который дополнительно осложняется тем, что одновременно с прогревом материала происходит сушка поверхностных слоёв.

Таким образом, нестационарные поля влагосодержания и температуры (динамика процесса) определяются закономерностями влаго- и теплопереноса внутри тела, а также внешним влаго- и теплообменом с окружающей средой. Математическое описание такого нестационарного процесса очень сложно и сводится к решению системы уравнений для граничных условий III рода при $t_c = f(\tau)$:

$$W(x, y, z, 0) = W_0 = \text{const} \quad (1)$$

$$(\tau > 0; -L_1 < x < +L_1, -L_2 < y < +L_2, -L_3 < z < +L_3) \quad :$$

$$\frac{\partial T_c}{\partial F_o} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2 \partial y^2 \partial z^2} - \varepsilon k_o \frac{\partial^2 u}{\partial F_o}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial F_o} = Lu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2 \partial y^2 \partial z^2} - LuPn \frac{\partial^2 T}{\partial x^2 \partial y^2 \partial z^2}.$$

Распределение влажности W и температуры T при этом считается симметричным относительно центра ограниченной пластины как модели обрезаемого сортамента или черновой заготовки, которые в таких камерах сушат чаще, чем необрезные доски.

Решение системы дифференциальных уравнений (1, 2) при симметричном распределении потенциалов переноса по прямоугольному сечению материала получено в [2] в полном и упрощённом безразмерном виде посредством метода интегральных преобразований Лапласа для нестационарного распределения безразмерных потенциалов переноса в материале и относятся к общему случаю переноса при барометрическом давлении.

Но использование даже упрощённых зависимостей связано с большим объёмом вычислительных работ, не влияющих на точность технологических расчётов. В связи с этим практический интерес имеют полученные нами методом операционного исчисления уравнений Лыкова А.В. приближённые решения, описывающие процесс тепло- и

массопереноса, более удобные для использования в инженерных расчётах по определению режимов сушки в аэродинамических камерах:

Для инженерных расчётов были введены следующие допущения:

- 1) $Q=1$, т.е. $t_0 = t_{нач.} = \text{const}$,
- 2) Комплекс критериев $\varepsilon \cdot k_0 P_n = 0,87 \cdot 0,06 \cdot 0,3 = 0,016$ взят постоянным, исходя из особенностей протекания процесса;
- 3) Момент перехода от стадии нерегулярного к стадии регулярного режима характеризуется величиной критерия Фурье $F_0=0,1$, что соответствует времени, в течение которого поверхностная влажность достигает величины, равной её значению в начале стадии регулярного режима;
- 4) Максимальное значение критерия $F_0=10$ при толщине сортимента $0,05$ м, $a_{\max}=15,8 \times 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$ и времени сушки $\tau=10$ сут;
- 5) Минимальное значение критерия Био $Bi=102$ при температуре сушильного агента $t_{\min}=40^\circ\text{C}$, степени насыщенности $\phi_{\min}=0,2$, коэффициенте влагообмена $\alpha_{\min}=8,15 \times 10^{-7} \text{ м/с}$, толщине сортимента $h=0,022$ м, коэффициенте влагопроводности $a_{\min}=3,14 \times 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$, скорости агента сушки $v_{\min}=1,0 \text{ м/с}$;
- 6) Максимальное значение критерия $Bi=230$ при соответствующих максимальных режимных параметрах: $t=100^\circ\text{C}$, $\phi=0,99$, $\alpha=28,5 \times 10^{-7} \text{ м/с}$, $h=0,05$ м, $a=16,4 \times 10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$, $v_{\max}=3,0 \text{ м/с}$.

Тогда для древесины сосны:

$$t_n = t_0 + t_c (1 - 0,488 \exp(-Pd' Fo') - 0,232 \exp(-z_i \tau)), \quad (3)$$

$$t_u = t_0 + t_c (1 - 0,688 \exp(-Pd' Fo') - 0,112 \exp(-z_i \tau)),$$

$$tc = 85,12(1 - 0,56 \exp(-0,224\tau) - 0,448 \exp(-0,028\tau) - 0,112 \exp(-0,0325\tau)),$$

стадия нерегулярного режима (период постоянной скорости сушки)

$$W(x, y, z, \tau) = W_H - ((W_H - W_P)(1,5 \frac{Bi^2}{88} \exp(-3,51(\frac{1 - \cos \frac{z}{h} \cos \frac{y}{b} \cos \frac{x}{l}}{2\sqrt{F_0}})) \times \\ \times (2,162 \sqrt{\frac{z}{h} \frac{y}{b} \frac{x}{l} F_0} + F_0 \sqrt{\frac{z}{h} \frac{y}{b} \frac{x}{l}} (0,125 \frac{h}{z} \frac{b}{y} \frac{l}{x} + \frac{4}{7} - \frac{Bi^2}{88}))), \quad (4)$$

стадия регулярного режима (период падающей скорости сушки)

$$W(x, y, z, \tau) = W_u(\tau) - (\frac{z}{h} \frac{y}{b} \frac{x}{l})^2 (W_u(\tau) - W_n(\tau)),$$

$$W_u(\tau) = (W_H - W_P) \frac{Bi}{Bi - 1/2} (1 - \exp(-F_0 (\frac{Bi}{Bi - 1/2})^2) \times 2,125 \exp(-3,9(\frac{Bi}{Bi - 1/2}) \sqrt{F_0}))), \quad (5)$$

$$W_n(\tau) = (W_H - W_P)(1 - 4,05 \times 10^{-4} F_0 Bi \exp(-\frac{1}{4,05 F_0})),$$

$$a' = 2,631(t_c + 273)^{10} \times 10^{-21},$$

где: t_n – температура на поверхности материала, $^\circ\text{C}$;

t_u – температура в центре материала, $^\circ\text{C}$;

t_c – температура среды, $^\circ\text{C}$;

W_u – влажность в центре сортимента, %;

W_n – влажность на поверхности сортимента, %;

W_p – равновесная влажность сортимента, %;

$$W_p = 10,6^\circ (0,03 - 0,00015t) \times 100, \quad (6)$$

$$Pd' = \frac{e_T R^2}{a'(t_{c0} - t_0)} \text{ и } F'_0 = \frac{a' \tau}{R^2} - \text{теплообменные критерии Предводителя и Фу-}$$

рье, характеризующие нестационарность процесса теплообмена (e_T – скорость изменения температуры, принимаемая из технологических соображений);

a' - коэффициент температуропроводности, определяющий инерционность материала, т.е. его способность выравнять температуру.

Для решения задачи поиска рациональных режимов сушки был проведён расчёт продолжительности сушки при различных возможных сочетаниях параметров режима для обрезных пиломатериалов. Параметры режима следующие: сушка сосновых сортиментов с размерами поперечного сечения 95×32мм с начальной влажностью $W_n=85\%$ до конечной влажности $W_k=8\%$ при изготовлении евробруса и евроокон. Исходные данные для расчёта формул получены на основе уравнения влагопроводности. Расчётная продолжительность сушки уточнялась посредством сравнения с опытными производственными сушками.

Результатом проведённого анализа напряжённо-деформированного состояния обрезного сортимента во время его гидротермической обработки являются 4 - ступенчатые режимы низкотемпературного процесса сушки сосновых пиломатериалов в аэродинамических сушильных камерах периодического действия (Таблица 1) [4].

Таблица 1 - Режимы низкотемпературной сушки сосновых пиломатериалов в аэродинамических камерах

ср. вла-сть, %	па-рам. ре-жи-ма	номер режима							
		ас1	ас2	ас3	ас4	ас5	ас6	ас7	ас8
		толщина, мм							
		22	25	32	40	50	60	70	80
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Мягкие режимы (М)									
>50	$t, ^\circ\text{C}$	66	66	66	64	64	64	62	60
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	5	5	4	4	4	4	3	2
	ϕ	0,78	0,78	0,82	0,82	0,82	0,82	0,86	0,90
50-35	$t, ^\circ\text{C}$	55	55	55	53	53	53	52	51
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	7	7	6	6	6	5	4	3
	ϕ	0,68	0,68	0,72	0,72	0,72	0,76	0,80	0,84
35-25	$t, ^\circ\text{C}$	60	60	60	58	58	58	56	53
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	10	10	9	9	9	8	7	6
	ϕ	0,58	0,58	0,61	0,61	0,61	0,65	0,68	0,72
<25	$t, ^\circ\text{C}$	75	75	75	73	73	73	71	68
	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	24	24	23	23	23	21	20	19
	ϕ	0,31	0,31	0,34	0,34	0,34	0,38	0,37	0,37

Выводы:

- полученные теоретические зависимости являются универсальными и позволяют использовать как одноосные модели (необрезная доска) при относительных координатах

натах, равных единице, так и двухосные (обрезная доска) и трёхосные (черновая заготовка) модели;

- анализ напряжённо-деформированного состояния обрезного сортимента во время его гидротермической обработки позволил обосновать новый способ сушки, позволяющий снизить энергозатратность и продолжительность процесса по сравнению с режимами РТМ.

Библиографический список

1. Сергеев, В.В. Повышение эффективности сушки древесины [Текст] / В.В. Сергеев, Ю.И. Тракало // Монография. Екатеринбург, 2005. - УГЛТУ. – 226с.
2. Лыков А.В. Тепломассообмен: справочник [Текст]/ А.В. Лыков – М.: Энергия, 1978. – 487с.
3. Сергеев, В.В. Повышение эффективности сушки пиломатериалов в камерах малой мощности [Текст]/ В.В. Сергеев: автореф. дис. ... докт. техн. наук./ СПбЛТА, 1999.- 33с.
4. Патент РФ №2319915 С1 Способ сушки пиломатериалов [Текст] / А.Н. Чернышев, А.А. Филонов.- МКП⁷ F28 B1/00, 3/04. –№20061116335/06; Заявл.12.05.2006; Опубл. 20.03.2008, Бюл.№30. – 4 с.

Шадрина Е.В., Гороховский А.Г., Дружинин А.В.

(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)

О СОВМЕЩЕНИИ ОПЕРАЦИЙ СУШКИ И ОБЛАГОРАЖИВАНИЯ ШПОНА В ПРОИЗВОДСТВЕ СЛОИСТОЙ КАРАНДАШНОЙ ДОЩЕЧКИ

COINCIDENCING DRYING AND ADVANCING VENEER WHILE MANUFACTURING PLY SLAT

Постановка проблемы и формулировка задачи, решаемой в данной статье

С момента организации производства карандашных дощечек из цельной древесины кедра существовало несколько способов их облагораживания:

- обработка красителями с последующей пропиткой в парафине,
- обработка вводными растворами винной и азотной кислот с последующей выдержкой в вакууме,
- пропитка раствором нитрита натрия и этиленгликоля под давлением,
- обработка в среде водяного пара и др [3].

В 1939 году ЦНИИЛ разработал и внедрил в производство термоаммиачный метод облагораживания, который с частичными изменениями существует в наше время и является типовым.

Из типовой технологии облагораживания (улучшения чиночных свойств) цельные кедровые дощечки обрабатывают аммиачной водой и острым паром в автоклавах (при 130°С в течение 2 часов), пропитывают парафином в специальных ваннах (при 80-90°С в течение 1 мин.) и сушат в камерах непрерывного действия [1].

При изготовлении карандашной дощечки слоистой конструкции было предложено использовать лущеный шпон малоценных пород древесины (березы, осины, ели,